

Radiation ray detector

Publication number: CN1257312 (A)

Publication date: 2000-06-21

Inventor(s): KENJI SATO [JP]

Applicant(s): SHIMADZU CO LTD [JP]

Classification:


- international: H01L31/09; G01T1/24; H01L27/146; H01L31/08; G01T1/00; H01L27/146; H01L31/08; (IPC1-7): H01L31/00; G01T1/24; H01L27/14


- European: H01L27/146P; H01L31/08C

Application number: CN19991025414 19991207

Priority number(s): JP19980351309 19981210; JP19990102528 19990409


Also published as:

 CN1187840 (C)

 EP1009038 (A2)

 EP1009038 (A3)

 EP1009038 (B1)

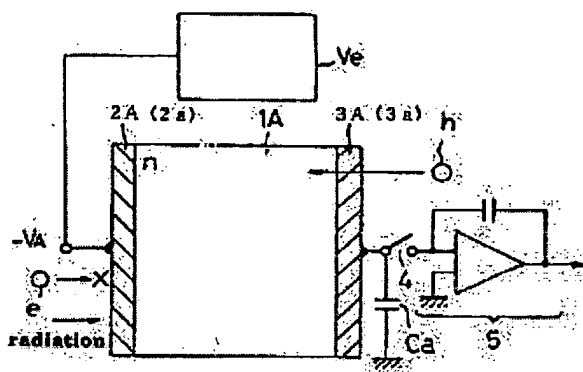
 US6528794 (B1)

Abstract not available for CN 1257312 (A)

Abstract of corresponding document: EP 1009038 (A2)

A radiation detecting apparatus having an enlarged detection area and improved radiation detecting sensitivity includes a semiconductor layer formed of an n-type amorphous or polycrystal semiconductor of high specific resistance, with a $\mu\tau$ product (mobility \times mean life) of holes being larger than a $\mu\tau$ product of electrons. The semiconductor layer has a surface electrode formed on one surface thereof to which a negative bias voltage is applied, and a carrier collection electrode formed on the other surface. The semiconductor layer provides an electronic injection inhibiting structure on the surface electrode side thereof, and a hole injection permitting structure on the carrier collection electrode side. In time of detecting radiation, electrons, which are majority carriers, are not injected from the surface electrode side into the semiconductor layer, while holes, which are minority carriers, are injected from the carrier collection electrode side. As a result, sensitivity is improved.

Fig.3



4/7

[19]中华人民共和国国家知识产权局

[51]Int. Cl⁷

H01L 31/00

H01L 27/14 G01T 1/24

[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 99125414.7

[43]公开日 2000 年 6 月 21 日

[11]公开号 CN 1257312A

[22]申请日 1999.12.7 [21]申请号 99125414.7

[30]优先权

[32]1998.12.10 [33]JP [31]351309/1998

[32]1999.4.9 [33]JP [31]102528/1999

[71]申请人 株式会社岛津制作所

地址 日本京都市

[72]发明人 佐藤贤治

[74]专利代理机构 中科专利商标代理有限责任公司

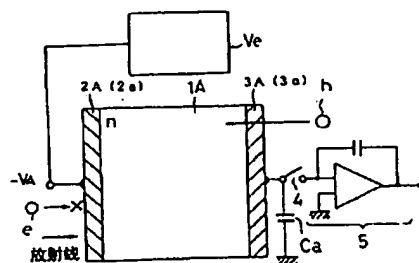
代理人 刘晓峰

权利要求书 6 页 说明书 16 页 附图页数 8 页

[54]发明名称 放射线检测装置

[57]摘要

一种具有增大的检测面积和改进的放射线检测灵敏度的放射线检测装置,包括一个由具有高电阻率的 n-型非晶或多晶半导体构成的半导体层,其中空穴的 $\mu\tau$ 乘积(迁移率 \times 平均寿命)大于电子的 $\mu\tau$ 乘积。在半导体层的一个表面上形成一个表面电极,对其提供一个负的偏压,在另外的一个表面上形成一个载流子收集电极。在半导体层的表面电极一侧上提供一个电子注入阻止结构,并在载流子收集电极一侧上提供一个空穴注入允许结构。



ISSN 1008-4274

知识产权出版社出版

FP03-0383
-00TW-HP

'08.12.26

权 利 要 求 书

5 1. 用于将入射放射线转化为电子信号的放射线装置, 其中包含:

用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应半导体层;

一对分别形成在所述半导体层的相对表面上的电极, 其中的一个所述电极为电压应用电极, 对其施加负偏压, 另外一个电极为载流子收集电极;

10 一个与所述载流子收集电极相连的用于存储由在所述半导体层中载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器;

一个与所述电容器相连的开关元件, 所述开关元件用于在所述电容器中积累电荷时被断开, 而在所述当电容器放电时被接通; 及

15 电荷-电压转换装置, 用于将通过所述开关器件从所述电容器中取出的电荷转化为用作放射线检测信号的电压信号;

其中所述半导体层由一个 n-型非晶半导体和一个 n-型多晶半导体构成, 二者均为高电阻率, 空穴的 $\mu\tau$ 乘积大于电子的 $\mu\tau$ 乘积, $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积; 及

20 其中所述半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于阻止电子注入的结构, 和形成在载流子收集电极侧上的用于允许注入空穴的结构。

2. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于被提供到所述电压应用电极上的偏压位于偏压的绝对值 $|V_A|$ 为 $|V_A| > d^2/\mu\tau L$ 的范围内, 其中 d 为电极间的距离, 而 $\mu\tau L$ 为载流子的 $\mu\tau$ 乘积的较大的一个。

3. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述半导体层由未掺杂杂质的非掺杂非晶硒和掺杂有碱金属的碱-掺杂非晶硒中

30 的一种构成。

4. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述用于阻止电子注入的结构包含形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间的肖特基结。

5. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述用于阻止电子注入的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的一 p-型层, 二者都为低电阻率, 形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间。

6. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述用于允许注入空穴的结构包含形成在所述半导体层和所述载流子收集电极之间的电阻结。

10 7. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述用于允许空穴注入的结构包含要用于注入空穴而不是电子的 p-型有机膜和 p-型半导体膜中的一种的载流子选择注入层, 其形成在所述半导体层和所述载流子收集电极之间。

8. 根据权利要求 1 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述装置包含多个二维结构的检测元件, 每个至少具有所述的半导体层, 所述电压应用电极, 所述载流子收集电极, 所述电荷存储电容器和所述开关元件。

9. 用于将入射放射线转化为电信号的放射线检测装置, 其中包含:
用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应
20 半导体层;

一对分别形成在所述半导体层的相对表面上的电极, 其中的一个所述电极为电压应用电极, 对其施加正偏压, 另外一个电极为载流子收集电极;

一个与所述载流子收集电极相连的用于存储由在所述半导体层中载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器;

一个与所述电容器相连的开关元件, 所述开关元件用于在所述电容器中积累电荷时被断开, 而在当所述电容器放电时被接通; 及

电荷-电压转换装置, 用于将通过所述开关器件从所述电容器中取出的电荷转化为作为放射线检测信号的电压信号;

30 其中所述半导体层由一个 n-型非晶半导体和一个 n-型多晶半导体

构成，二者均为高电阻率，空穴的 $\mu\tau$ 乘积大于电子的 $\mu\tau$ 乘积， $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积；及

5 其中所述半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于允许空穴注入的结构，和形成在载流子收集电极侧上的用于阻止电子注入的结构。

10 10. 根据权利要求 9 所述的放射线检测装置，其特征在于被提供到所述电压应用电极上的偏压位于偏压的绝对值 $|V_A|$ 为 $|V_A| > d^2/\mu\tau L$ 的范围内，其中 d 为电极间的距离，而 $\mu\tau L$ 为载流子的 $\mu\tau$ 乘积的较大的一个。

11. 根据权利要求 9 所述的放射线检测装置，其特征在于所述半导体层由未掺杂杂质的非掺杂非晶硒和掺杂有碱金属的碱-掺杂非晶硒中的一种构成。

15 12. 根据权利要求 9 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用于允许空穴注入的结构包含形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间的电阻结。

13. 根据权利要求 9 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用于允许空穴注入的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的 p -型层，二者都为低电阻率，形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间。

20 14. 根据权利要求 9 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用于阻止注入电子的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的 p -型层，二者都为低电阻率，形成在所述半导体层和所述载流子收集电极之间。

25 15. 根据权利要求 9 所述的放射线检测装置，其特征在于所述装置包含多个二维结构的检测元件，每个至少具有所述的半导体层，所述电压应用电极，所述载流子收集电极，所述电荷存储电容器和所述开关元件。

16. 用于将入射放射线转化为电信号的放射线检测装置包含：

用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应半导体层；

30 一对分别形成在所述半导体层的相对表面上的电极，其中的一个所

述电极为电压应用电极，对其施加负偏压，另外一个所述电极为载流子收集电极；

一个与所述载流子收集电极相连的用于存储由所述半导体层的载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器；

5 一个与所述电容器相连的开关元件，所述开关元件用于在所述电容器中积累电荷时被断开，而在当所述电容器放电时被接通；及

电荷-电压转换装置，用于将通过所述开关器件从所述电容器中取出的电荷转化为作为放射线检测信号的电压信号；

其中所述半导体层由 p-型非晶半导体和 p-型多晶半导体中的一个
10 构成，二者均为高电阻率，具有电子的 $\mu\tau$ 乘积大于空穴的 $\mu\tau$ 乘积， $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积；及

其中所述半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于允许
15 电子注入的结构，和形成在载流子收集电极侧上的用于阻止空穴的注入的结构。

17. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置，其特征在于被提供到所述电压应用电极上的偏压位于偏压的绝对值 $|V_A|$ 为 $|V_A| > d^2/\mu\tau L$ 的范围内，其中 d 为电极间的距离，而 $\mu\tau L$ 为载流子的 $\mu\tau$ 乘积中的较大的一个。

20 18. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置，其特征在于所述半导体层包含从由 CdZnTe, CdTe 和 PbI₂ 组中选出的一种化合物半导体。

19. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置，其特征在于所述半导体层包含掺杂有卤素的掺-卤素非晶硒。

20. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用于
25 允许电子注入的结构包含形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间的电阻结。

21. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用于允许电子注入的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的 n-型层，二者都为低电阻率，形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间。

30 22. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用

于阻止注入空穴的结构包含一个形成在所述半导体层和所述载流子收集电极之间的肖特基结。

23. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述用于阻止空穴注入的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的 n-型层, 二者都为低电阻率, 形成在所述半导体层和所述载流子收集电极之间。

24. 根据权利要求 16 所述的放射线检测装置, 其特征在于所述装置包含多个二维结构的检测元件, 每个检测元件至少具有所述的半导体层, 所述电压应用电极, 所述载流子收集电极, 所述电荷存储电容器和所述开关元件。

25. 用于将入射放射线转化为电信号的放射线检测装置, 其中包含:

用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应半导体层;

一对分别形成在所述半导体层的相对表面上的电极, 其中的一个所述电极为电压应用电极, 对其施加正偏压, 另外一个所述电极为载流子收集电极;

一个与所述载流子收集电极相连的用于存储由在所述半导体层中的载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器;

一个与所述电容器相连的开关元件, 所述开关元件用于在所述电容器中积累电荷时被断开, 而在当所述电容器放电时被接通; 及

电荷-电压转换装置, 用于将通过所述开关器件从所述电容器中取出的电荷转化为作为放射线检测信号的电压信号;

其中所述半导体层由 p-型非晶半导体和 p-型多晶半导体中的一种构成, 二者均为高电阻率, 具有电子的 $\mu\tau$ 乘积大于空穴的 $\mu\tau$ 乘积, $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积; 及

其中所述半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于阻止空穴注入的结构, 和形成在载流子收集电极侧上的用于允许电子注入的结构。

26. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置, 其特征在于被提供

到所述电压应用电极上的偏压位于偏压的绝对值 $|V_A|$ 为 $|V_A| > d^2/\mu\tau L$ 的范围内，其中 d 为电极间的距离，而 $\mu\tau L$ 为载流子的 $\mu\tau$ 乘积中的较大的一个。

27. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述半
5 导体层包含从由 CdZnTe, CdTe 和 PbI₂ 组中选出的的一种化合物半导体。

28. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述半
导体层包含掺杂有卤素的掺-卤素非晶硒。

29. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用
于阻止空穴注入的结构包含形成在所述半导体层和所述电压应用电极
10 之间的肖特基结。

30. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用
于阻止空穴注入的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的一 n-型层，
二者都为低电阻率，被形成在所述半导体层和所述电压应用电极之间。

31. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用
15 于允许注入电子的结构包含一个形成在所述半导体层和所述载流子收
集电极之间的肖特基结。

32. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述用
于允许电子注入的结构包含半导体膜和有机膜中的一种的一 n-型层，
二者都为低电阻率，被形成在所述半导体层和所述载流子收集电极之
20 间。

33. 根据权利要求 25 所述的放射线检测装置，其特征在于所述装
置包含多个二维结构的检测元件，每个检测元件至少具有所述的半导
体层，所述电压应用电极，所述载流子收集电极，所述电荷存储电容
器和所述开关元件。

本发明涉及一种用于医疗、工业、原子核和其他领域中的直接转换型的放射线检测装置，更具体的涉及一种改进放射线检测灵敏度的技术。

10 使用半导体检测器的放射线检测装置包含一个非直接转换型装置，其首先将放射线（例如 X 射线）转换为光，然后通过光电转换将光转换为电信号，和直接转换型装置，其使用放射线感应半导体层将入射的放射线直接转换为电信号。直接转换型装置在放射线感应半导体层的两相对的表面上形成有电极。将预定的电压提供给其中的一个
15 电极（电压应用电极）。另外的一个电极（载流子收集电极）收集由入射放射线产生的载流子。载流子被作为放射线检测信号取出，从而可对放射线进行检测。

传统的直接转换型放射线检测装置使用单晶半导体作为用于半导体层的材料。由于单晶半导体与具有大量局部能级和晶界的非晶或多
20 晶半导体相比具有优异的载流子传输特性，从而其被使用。传统的具有单晶半导体的优异的载流子传输特性的放射线检测装置被用做放射线能量检测器或放射线脉冲计数器。

由于只有入射的放射线产生的载流子被作为信号取出，传统的放射线检测装置需要在两相对侧面上用于阻止从电极注入载流子的结构。因此，传统的装置具有下面的特定的结构。
25

如图 1 中所示，传统的装置包含高电阻率的单晶半导体层 51，通过对其掺入杂质而使其一个侧面成为 P-型而另外一个侧面成为 n-型。在半导体层 51 的两相对侧面上形成结构 52 和结构 53 以分别阻止电子 e 和空穴 h 的注入。另外，入图 2 中所示，传统的装置还可包含一个相
30 对低电阻率的 n-型（或 P-型）单晶半导体层 61，通过对其掺入杂质而

使其一个侧面成为 P-型（或 n-型）或具有结构 62 的形式，即在一个侧面上具有一个阻挡金属电极用于阻止电子 e（或空穴 h）的注入。另一侧面通过可通过晶体自身的导电性防止空穴（或电子 e）的注入。在图 1 和图 2 中，左面的电极作为偏压应用电极，而右面的电极作为载流子收集电极。

然而，传统的放射线检测装置具有一个缺点，即其无法满足增大的检测面积的需要。在医疗、工业、原子和其他的各个领域中，对具有大面积和高灵敏度的半导体型放射线检测装置具有很大的需求，以获得高速、高灵敏度和小巧的放射线检测系统。在当前的条件下，3-英寸直径为用于放射线检测的单晶半导体材料的极限。很难获得具有大面积和高灵敏度的半导体型放射线检测装置。

对于非晶或多晶半导体，另一方面，通过使用薄膜制造技术可获得 1000 平方厘米和更大的面积。然而，由于存在局部能级和晶界从而灵敏度不足。同时，很难获得具有大面积和高灵敏度的半导体型放射线检测装置。

本发明已经注意到现有技术中的上述的问题，其目的是提供一种具有大面积和高灵敏度的半导体型放射线检测装置。

根据本发明的第一方面是通过用于将入射放射线转化为电子信号的放射线装置实现上述的目的，该装置包括：

用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应半导体层；

一对分别形成在半导体层的相对表面上的电极，其中的一个电极为电压应用电极，对其施加负偏压，另外一个电极为载流子收集电极；

一个与载流子收集电极相连的用于存储由在半导体层中的载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器；

一个与电容器相连的开关元件，该开关元件用于在电容器中积累电荷时被断开，而在当电容器放电时被接通；及

电荷-电压转换装置，用于将通过开关器件从电容器中取出的电荷转化为作为放射线检测信号的电压信号；

其中半导体层由 n-型非晶半导体和 n-型多晶半导体中的一种构

成，二者均为高电阻率，具有空穴的 $\mu\tau$ 乘积大于电子的 $\mu\tau$ 乘积， $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积；及

其中半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于阻止电子注入的结构，和形成在载流子收集电极侧上的用于允许注入空穴的结构。

图 3 中所示的本发明的第一方面的放射线检测装置包含由 n-型非晶或多晶高电阻率的半导体构成的放射线感应半导体层 1A，其中在所
10 产生的载流子中空穴 h 的 $\mu\tau$ 乘积大于电子 e 的 $\mu\tau$ 乘积。当通过检测装置检测放射线时，半导体层 1A 中的作为少数载流子的空穴 h 对放射线检测有贡献。从偏压源 V_e 向半导体层 1A 的一个电极侧提供负偏压 $-V_A$ 。接着，迅速从形成在半导体层 1A 的载流子收集电极侧上的空穴注入允许结构 3A 注入空穴 h，注入量对应于由入射放射线所产生的载流子的量。半导体层 1A 具有高电阻率，从而半导体层 1A 的电导性
15 不会阻止空穴 h 的注入。另一方面，通过形成在半导体层 1A 的电压应用电极侧上的电子注入阻止结构 2A 阻止电子 e 的注入。

在现有技术中，同时阻止空穴 h 和电子 e 的注入。本发明的第一方面只阻止对提高灵敏度不起作用的作为大多数载流子的电子 e 的注入。而允许注入对提高灵敏度有贡献的空穴 h，以将灵敏度提高对应于
20 空穴 h 的增加了的程度。所注入的空穴 h 在半导体层 1A 中为少数载流子，因此可抑制暗电流的增加。自然，由于半导体层 1A 由非晶或多晶半导体材料构成，从而可增大检测面积。

在断开开关元件 4 时，在电荷存储电容器 Ca 中累积由空穴 h 的移动所产生的电荷。当接通开关元件 4 时，所存储的电荷被从电荷-电压
25 转换器 5 作为充当放射线检测信号的电压信号读出。因此，在电容器 Ca 中累积电荷时，甚至在非-信号读出期间，也不会中断检测操作，其就敏感度而言存在优势。此外，在多沟道结构的情况下，用于读出检测信号的电荷-电压转换装置 5 可被设计成可被切换的与多个电容器相连，从而可减少所需的电荷-电压转换器的数量。

30 接着，将对本发明的第一方面的放射线检测装置的检测灵敏度进

行量上的描述。

当施加电场 E 和向半导体层 1 入射放射线 (X 射线) 时流过的电流 i 表示为 $i = \Delta i + i_D$ (其中 Δi 为信号电流部分, 而 i_D 为暗电流部分), 其中的半导体层 1 的截面积为 S 而厚度对应于电极间的距离 d 。通过

5 下面的方程 (1) 表示信号电流部分 Δi :

$$\Delta i = q \Delta n \cdot \mu E S = q(\Delta n_e \mu_e + \Delta n_h \mu_h) E S \quad (1)$$

其中 Δn 表示增加的载流子, μE 表示载流子的迁移速度, Δn_e 为增加的电子数, Δn_h 为增加的空穴数, 而 q 为电量。

另一方面, 在每单位体积和每单位时间所产生的载流子的量为 g (每
10 立方厘米每秒) 时, 由于假设放射线稳定 ($dg/dt=0$), Δn 的时间流逝的变化表示为 $d\Delta n(t)/dt = g - \Delta n(t)/\tau$ (其中 τ 为载流子的平均寿命)。通过解此方程可得到 $\Delta n(t) = g\tau[1 - \exp(-t/\tau)]$ 。其中 $t \gg \tau$, $\Delta n(t) = g\tau$, 并可获得下面的方程:

$$\Delta n_e = g_e \tau_e \quad (2)$$

$$15 \quad \Delta n_h = g_h \tau_h \quad (3)$$

由于 $g_e = g_h = g$, 将上面的方程带入方程 (1) 可获得方程 (4):

$$\begin{aligned} \Delta i &= qgES(\mu_e \tau_e + \mu_h \tau_h) \\ &= qgdS(\mu_e \tau_e E/d) + (\mu_h \tau_h E/d) \end{aligned} \quad (4)$$

另外, 由于这里阻止电子 e 的注入, 方程 (4) 变为方程 (5):

$$20 \quad \Delta i = qgdS(\mu_h \tau_h E)/d \quad (5)$$

在此情况下, 由于 $\mu_e \tau_e \ll \mu_h \tau_h$, Δi 的值基本上不变。

通过对比, 在传统的放射线检测装置中, 由于方程 (2) 和 (3) 中的 g_e 和 g_h 可用下面的 Hecht's 方程 (6) 和 (7) 替代, 上面的方程 (4) 变为方程 (8):

$$25 \quad g_e = g_e \{1 - \exp[-(d-r)/\mu_e \tau_e E]\} \quad (6)$$

$$g_h = g_h \{1 - \exp[-r/\mu_h \tau_h E]\} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \Delta i &= qdS \{g_e [1 - \exp[-(d-r)/\mu_e \tau_e E]] (\mu_e \tau_e E/d) + g_h [1 - \exp[-r/\mu_h \tau_h E]] (\mu_h \tau_h E/d)\} \\ &\quad (8) \end{aligned}$$

另外, 方程 (8) 中的 $\{\}$ 中的表达式在 E 增大时变为 $[g_e(d-r) + g_h r]/d$ 。

30 此值等于 g , 因此, 方程 (8) 最后变为方程 (9)

$$\Delta i_{MAX}=qgdS \quad (9)$$

从方程(9)可看出,在传统的(非注入型)放射线检测装置中,信号不依赖于电场E,但依赖于g或所产生的载流子。

通过将本发明的第一方面的方程(5)与现有技术的方程(9)进行比较,可看出,在本发明的第一方面中, Δi 增大了 $(\mu_h \tau_h E)/d$ 倍。上升的比率与电场E成正比,电场E=偏压/电极间的距离。结果,随着偏压的增大,灵敏度会提高。

在本发明的第二方面中,所提供的用于将入射放射线转化为电信号的放射线检测装置包含:

10 用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应半导体层;

一对分别形成在半导体层的相对表面上的电极,其中的一个电极为电压应用电极,对其施加正偏压,另外一个电极为载流子收集电极;

15 一个与载流子收集电极相连的用于存储由半导体层的载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器;

一个与电容器相连的开关元件,该开关元件用于在电容器中积累电荷时被断开,而在当电容器放电时被接通;及

电荷-电压转换装置,用于将通过开关器件从电容器中取出的电荷转化为作为放射线检测信号的电压信号;

20 其中半导体层由n-型非晶半导体和n-型多晶半导体中的一个构成,二者均为高电阻率,具有空穴的 $\mu\tau$ 乘积大于电子的 $\mu\tau$ 乘积, $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积;及

25 其中半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于允许空穴注入的结构,和形成在载流子收集电极侧上的用于阻止电子的注入的结构。

根据如图4中所示的本发明的第二方面的放射线检测装置,从偏压源 V_e 向半导体层1B的一个电极侧提供正偏压 $+V_A$ 。半导体层1B具有一个形成在电压应用电极侧上的空穴注入允许结构2B,和一个形成在载流子收集电极侧上的电子注入阻止结构3B。此装置的功能与本

30

发明的第一方面的类似，区别在于注入空穴的方向相反。因此，对其
其他的细节将不再讨论。

在本发明的第三方面中，所提供的用于将入射放射线转化为电信
号的放射线检测装置包含：

5 用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应
半导体层；

一对分别形成在半导体层的相对表面上的电极，其中的一个电极为
电压应用电极，对其施加负偏压，另外一个电极为载流子收集电极；

10 一个与载流子收集电极相连的用于存储由在半导体层中的载流子
的移动所产生的电荷的电荷存储电容器；

一个与电容器相连的开关元件，该开关元件用于在电容器中积累
电荷时被断开，而在当电容器放电时被接通；及

电荷-电压转换装置，用于将通过开关器件从电容器中取出的电荷
转化为作为放射线检测信号的电压信号；

15 其中半导体层由 p-型非晶半导体和 p-型多晶半导体中的一个构
成，二者均为高电阻率，具有电子的 $\mu\tau$ 乘积大于空穴的 $\mu\tau$ 乘积，
 $\mu\tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ
的乘积；及

20 其中半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于允许电子
注入的结构，和形成在载流子收集电极侧上的用于阻止空穴注入的结
构。

根据图 5 中所示的本发明第三方面的放射线检测装置，放射线感
应半导体层 1C 由高电阻率的 p-型非晶或多晶半导体构成，在所产生的
载流子中，电子 e 的 $\mu\tau$ 乘积大于空穴的 $\mu\tau$ 乘积。在半导体层中 1C
25 作为少数载流子的电子 e 对放射线检测有贡献。将负偏压 V_A 从偏压
源 V_e 提供到半导体层 1C 的一个电极侧。电子 e 迅速从形成在半导体
层 1C 上的电子应用电极侧上的电子注入允许结构 2C 注入，其量对应
于通过入射放射线所产生的载流子的量。另一方面，半导体层 1C 具有
形成在电压应用电极侧上的空穴阻止结构 3C。因此，空穴 h 不被注入，
30 而只注入电子 e。

由于这里阻止空穴 h 的注入, 上述的方程 (5) 变为下面的方程 (10):

$$\Delta i = qgdS (\mu_e \tau_e E) / d \quad (10)$$

由于 $\mu_h \tau_h \ll \mu_e \tau_e$, Δi 的值自然很难改变。由于 Δi 增加了 $(\mu_e \tau_e E) / d$ 倍, 从而灵敏度增加。

5 此装置的功能与本发明的第一方面的相同。因此, 对其他的细节不再讨论。

在本发明的第四方面中, 所提供的用于将入射放射线转化为电信号的放射线检测装置包含:

10 用于响应入射放射线产生电子-空穴对形式的载流子的放射线感应半导体层;

一对分别形成在半导体层的相对表面上的电极, 其中的一个电极为电压应用电极, 对其施加正偏压, 另外一个电极为载流子收集电极;

一个与载流子收集电极相连的用于存储由半导体层的载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器;

15 一个与电容器相连的开关元件, 该开关元件用于在电容器中积累电荷时被断开, 而在当电容器放电时被接通; 及

电荷-电压转换装置, 用于将通过开关器件从电容器中取出的电荷转化为作为放射线检测信号的电压信号;

20 其中半导体层由 p-型非晶半导体和 p-型多晶半导体中的一个构成, 二者均为高电阻率, 电子的 $\mu \tau$ 乘积大于空穴的 $\mu \tau$ 乘积, $\mu \tau$ 乘积为由入射放射线产生的电子和空穴的迁移率 μ 和平均寿命 τ 的乘积; 及

25 其中半导体层具有一个形成在电压应用电极侧上的用于阻止空穴注入的结构, 和形成在载流子收集电极侧上的用于允许电子注入的结构。

根据图 6 中所示的本发明的第四方面的放射线检测装置, 将正偏压 $+V_A$ 从偏压源 V_e 提供到半导体层 1D 的一个电极侧上。半导体层 1D 具有形成在载流子收集电极侧上的电子注入允许结构 3D, 及形成在电压应用电极侧上的空穴注入阻止结构 2D。此装置的作用与本发明的第三实施例中的类似, 区别在于用于注入电子 e 的方向相反。因此, 对

30

其他的细节不再进行描述。

在本发明的第一到第四方面的放射线检测装置中，被提供到电压应用电极上的偏压值最好是在偏压的绝对值 $|V_A|$ 为 $|V_A| > d^2/\mu\tau L$ 的范围内，其中 d 为电极间的距离，而 $\mu\tau L$ 为载流子的 $\mu\tau$ 乘积的大的一
5 一个。

通过如上所设置的偏压，方程 (5) 或 (10) 中的 Δi 大于方程 (9) 中的 Δi ，从而能够可靠的进行高灵敏度的放射线检测工作。

为了描述本发明的目的，在图中示出了当前最好的几个形式，需明确，本发明并不限于所示出的结构和装置。

10 图 1 为传统的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图；

图 2 为另外一个传统的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图；

图 3 为根据本发明的第一方面的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图；

15 图 4 为根据本发明的第二方面的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图；

图 5 为根据本发明的第三方面的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图；

20 图 6 为根据本发明的第四方面的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图；

图 7 为第一实施例中的放射线感应器的截面示意图；

图 8 为第一实施例中的放射线感应器的基本电路图；

图 9 为第一实施例中的放射线感应器的结构平面示意图；

图 10 为第二实施例中的放射线感应器的结构平面示意图；

25 图 11 为第三实施例中的放射线感应器的结构平面示意图；

图 12 为第四实施例中的放射线感应器的结构平面示意图；

图 13 为第五实施例中的放射线感应器的结构平面示意图；

图 14 为第六实施例中的放射线感应器的结构平面示意图；

图 15 为第七实施例中的放射线感应器的结构平面示意图。

30 下面将参考附图对本发明的最佳实施例进行详细描述。

第一实施例

图 3 为第一实施例中的（根据本发明的第一方面的实施例）放射线检测装置的主要部分的基本结构示意图。图 7 为第一实施例中的放射线感应器的截面示意图。图 8 为第一实施例中的放射线感应器的基本电路图。图 9 为第一实施例中的放射线感应器的结构平面示意图。

如图 3 和 7 中所示，本发明的第一实施例中的放射线检测装置包含一个放射线感应器，具有用于响应入射放射线产生载流子的放射线感应半导体层 1A；一个设置在半导体层 1A 的放射线入射侧上的表面电极（电压应用电极）2a；设置在半导体层 1A 的放射线非入射侧（与放射线入射侧相对）上的载流子收集电极 3a；用于存储有半导体层 1A 中的载流子的移动所产生的电荷的电荷存储电容器 Ca；和作为开关元件 4 的薄膜晶体管（TFT），其通常在为了获得存储在电容器 Ca 中的电荷时而被断开（非-导电）。第一实施例中的装置还包含一个用于向表面电极 2a 提供负偏压- V_A 的偏压源（电源）Ve。由入射放射线产生的载流子和注入的载流子通过提供到表面电极 2a 上的偏压而移向电极 3a，从而电荷积累在电容器 Ca 中。在读取时，开关元件 4 被接通（连接），从而电荷被读出并被发送到电荷-电压转换器（前置放大器）5，以将其转换为作为电压信号的入射检测信号。下面将对具体的元件进行描述。

在第一实施例的装置中，半导体层 1A 由空穴的 $\mu\tau$ 乘积大于电子的 $\mu\tau$ 乘积的高电阻率的 n-型非晶半导体构成。此种类型的非晶半导体包含例如未掺杂杂质的非-掺杂非晶硒（a-Se），和掺有诸如 Na 的碱金属的碱-掺杂非晶硒。如在此所用的，短语“未掺杂杂质的”是指没有专门给出杂质掺杂处理。高电阻率的所需的数值范围为 10^9 欧姆厘米或更高，最好为 10^{11} 欧姆厘米或更高。自然，非晶半导体为可实现增大的检测面积的半导体材料。

可形成 n-型半导体的肖特基结的诸如 Au、Pt 或类似的金属可被作为用于表面电极的金属。诸如 ITO（铟锡氧化物），Ti，Ni 或类似的可形成 n-型半导体的电阻结的金属可作为载流子收集电极 3a。即，在第一实施例中，形成在半导体层 1A 和表面电极 2a 之间的肖特基结构成

电压应用电极侧上的电子注入阻止结构 2A。形成在半导体层 1A 和载流子收集电极 3a 之间的电阻结构成载流子收集电极侧上的空穴注入允许结构 3A。自然，用于形成电极的非晶半导体和金属并不限于上述的金属。

5 如图 7 和图 9 所示，除了半导体层 1A 和电极 2a 和 3a 外，第一实施例中的放射线感应器的所包含作为开关元件的 FET 型薄膜晶体管和电荷存储电容器 Ca 都形成在一个绝缘基片 6 上。电容器 Ca 为 SiO_2 层或类似的形式。绝缘基片 6 为玻璃基片或类似的形式。

另外，第一实施例中的装置的放射线感应器为具有大量的沿 X-和
10 Y-方向设置的检测元件 DU（即 1024×1024 ）的面检测器形式。图 3 示出了基本结构的检测元件 DU。如图 7 和图 9 中所示，形成作为所有的检测元件 DU 的公共电极的表面电极 2a。对各个检测元件 DU 单独形成作为单个电极的载流子收集电极 3a。对各个检测元件 DU 同样形成一个开关元件 4 和电容器 Ca。

15 在图 9 中所示的第一实施例中的放射线感应器中，检测元件 DU 的开关元件（薄膜晶体管）4 具有与水平（X）方向排列的感应线 7 相连的源极，与竖直（Y）方向排列的感应线 8 相连的栅极。感应线 7 通过一组电荷-电压转换器（一组前置放大器）9 与多路复用器 10 相连。感应线 8 与栅驱动器 11 相连。在电荷-电压转换器组 9 中，如 3 中所
20 示的一个电荷-电压转换器 4 与每个感应线 7 相连。

在第一实施例的放射线检测器中，用于读取信号的扫描信号被输入到多路复用器 10 和栅驱动器 11 中。放射线检测器的检测元件 DU 凭借沿 X 和 Y-轴顺序定位的检测元件 DU 的地址（即 0 到 1023）进行识别。因此，读取扫描信号充当在 X 方向或 Y 方向上指定地址的作用。

25 响应 Y-方向的扫描信号，栅驱动器 11 将一个读取电压提供到设置在 Y-方向的感应线 8。然后，按列选择检测元件 DU。当通过 X-方向的扫描信号切换多路复用器 10 时，存储在所选列中的检测元件 DU 的电容器 Ca 中的电荷被通过电荷-电压转换器 9 和多路复用器 10 连续输出。

30 在第一实施例中的放射线检测装置被用做荧光 X-射线装置的 X-射

线检测器时,例如,检测元件 DU 的检测信号被从多路复用器 10 连续取出作为像素信号。然后,如图 9 中的点划线中所示,图像处理器 DT 进行包含噪声处理的所需信号的处理过程,图像显示器 MT 显示二维图像(荧光图像)。

5 因此,第一实施例中的放射线检测器的检测信号读取模式从广义上说类似于诸如 TV 相机的普通的图像装置。

在第一实施例中,如需要,放射线感应器除了电荷-电压转换器组 9、多路复用器 10 和栅驱动器 11 外可包含一个模数转换器(未示出),以提高集成结构。然而,电荷-电压转换器 9,多路复用器 10,栅驱动器 11 和模数转换器可总成或单独的安装。

在制造第一实施例中的放射线感应器的过程中,通过依据光刻方法的真空淀积方法或图形形成技术中的一种方法,使用薄膜形成技术在绝缘基片 6 的表面上顺序叠加用于开关元件 4 的薄膜晶体管、电容器 Ca、载流子收集电极 3a、半导体层 1A 和表面电极 2a。

15 另一方面,通过所构成的偏压源 V_e 将作为偏压的负极偏压提供到表面电极 2a,在所产生的载流子中,电压将空穴从放射线非-入射侧移向放射线入射侧。偏压源 V_e 可为一个固定的电源用于不变的只输出一个特定的电压,或可为一个可变电源,用于可变的输出电压。

在此情况下,对放射线检测作出贡献的空穴被以对应于通过入射放射线所产生的载流子的量从载流子收集电极 3a 注入。这将导致检测信号与偏压成比例的增加 $(\mu_h \tau_h E)/d$ 倍,以使检测灵敏度有实质的提高。此空穴 h 为半导体层 1A 中的少数的载流子,因此,在其中产生较少的暗电流。

25 在第一实施例的放射线检测装置中,电极间的距离为(即半导体层 1A 的厚度)可为 0.07cm,半导体层 1A 可由 a-Se 构成,空穴的 $\mu \tau$ 乘积为 $10^{-6} \text{cm}^2/\text{V}$,而电子的 $\mu \tau$ 乘积为 $10^{-7} \text{cm}^2/\text{V}$ 。然后,在 $|-V_A| > 4900$ 范围中的偏压导致 $(\mu_h \tau_h E)/d > 1$ 的结果,从而保证高灵敏度的放射线检测。

30 此外,即使在信号读取周期以外的情况下,在第一实施例中的装置中检测操作无间断的根据累积在电容器 Ca 中的电荷 h 连续进行。这

对灵敏度有利。在第一实施例中的多沟道结构中，用于读取的每个电荷-电压转换装置的结构使得其可被切换的与多个电容器 Ca 相连。因此，可减少电荷-电压转换器的数目，由此可使结构小巧。即，根据本发明的放射线检测装置可适合用于高灵敏度的多沟道型。

第二实施例

下面将描述本发明的第二实施例（根据本发明的第一方面的另外一个实施例）。图 10 为第二实施例中的放射线感应器的截面示意图。

如图 10 中所示，第二实施例中的放射线检测装置包含形成在表面电极 2a 和半导体层 1A 之间的低电阻率的半导体膜或有机膜的 p-型层 1a。半导体层 1A 和 p-型层 1a 之间的 PN 结构成电压应用电极侧上的电子注入阻止结构 2A。因此，不需要由提供肖特基结的材料构成表面电极 2a。用于形成 p-型层的低电阻率的半导体膜可为 Sb_2Te_3 ， Sb_2S_3 或 ZnTe。有机膜可为多碳化物或混有空穴转移剂的类似物质。

其他的细节和作用都与前面描述的第一实施例中的相同，这里对其不再描述。

第三实施例

下面将描述本发明的第三实施例（根据本发明的第一方面的另外一个实施例）。图 11 为第三实施例中的放射线感应器的截面示意图。

如图 11 中所示，第三实施例中的放射线感应器包含形成在半导体层 1A 和载流子收集电极 3a 之间的载流子选择注入层 1b。在第三实施例的装置中，载流子选择注入层由 p-型半导体或有机膜构成，其与和具有较小 $\mu\tau$ 乘积的电子相比具有较大的 $\mu\tau$ 乘积的空穴一起被注入。此 p-型半导体可为但并不限于 Sb_2S_3 ，ZnTe 或类似的物质。

在第三实施例的装置中，设置在半导体层 1A 下面的载流子选择注入层 1b 构成空穴注入允许结构 3A。因此，载流子收集电极 3a 不需要形成电阻结，但可形成肖特基结。此特征可提供另外一种好处，即可从宽范围的材料中选择载流子收集电极 3。结构的其他的细节都与第一实施例中的相同，这里不再描述。

第四实施例

下面将描述本发明的第四实施例（根据本发明的第二方面的实施

例)。图 4 为第四实施例中的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图。图 12 为第四实施例中的放射线感应器的截面示意图。

在图 12 中所示的第四实施例的放射线检测装置中，向表面电极 2b 提供正偏压 $+V_A$ 。载流子收集电极 3b 由诸如 ITO、Ti 或 Ni 等金属构成。此外，在半导体层 1B（即未掺杂杂质的非-掺杂非晶硒或掺杂有诸如 Na 的碱金属的碱-掺杂非晶硒）和载流子收集电极 3b 之间形成低电阻率的半导体膜或有机膜的 p-型层 1c。表面电极 2b 由 ITO、Ti、Ni 或类似的物质构成，其形成 n-型半导体的电阻结。P-型层 1c 的低电阻率的半导体膜可为 Sb_2Te_3 ， Sb_2S_3 或 ZnTe 等金属。有机膜可为多碳化物或类似的混有空穴转移剂的物质。因此，在半导体层 1B 和 p-型层 1c 之间的 PN 结构成载流子收集电极侧上的电子注入阻止结构 3B。半导体层 1B 和表面电极 2b 间的电阻结在电压应用电极侧上提供一个空穴注入允许结构 2B。结果，以与第一实施例中相反的方向注入空穴 h。其他的结构和细节都与第一实施例中的相同，这里不再描述。

在第四实施例中，由形成 n-型半导体的肖特基结的 Au，Pt 或类似的金属构成载流子收集电极 3b，从而可省去 p-型层 1c。然而，这通常是不需要的，因为在诸如 Au，Pt 等中金属的情况下，金属原子会渗透进构成下面的开关元件 4 的薄膜晶体管中，从而会使其性质降低。此空穴注入允许装置可以是形成在半导体层 1B 和表面电极 2b 之间的低电阻率的半导体膜的或有机膜的 p-型层形式。

第五实施例

接着将描述第五实施例（根据本发明的第三方面的实施例）。图 5 为第五实施例中的放射线检测装置中的主要部分的基本结构的示意图。图 13 为第五实施例中的放射线感应器的截面示意图。

如图 5 和 13 中所示，第五实施例中的放射线检测装置包含用于响应入射放射线产生载流子的放射线感应半导体层 1C。层 1C 由电子的 $\mu\tau$ 乘积大于空穴的 $\mu\tau$ 乘积的高电阻率的 p-型多晶半导体构成。此具有大的检测面积的多晶半导体并不限于特定的类型，但可为诸如 CdZnTe 等的化合物。表面电极 2c 是由与 p-型半导体形成电阻结的诸如 Au 或 Pt 等金属构成。载流子收集电极 3c 由与 p-型半导体形成肖特

基结的 ITO 或 Ti 等金属构成。自然，多晶半导体和用于形成电极的金属并不限于上面提到的材料。

另一方面，通过所构成的偏压源 V_e 将作为偏压的负极偏压提供到表面电极 2c，在所产生的载流子中，电压将电子从放射线入射侧移向放射线非-入射侧。

因此，在第五实施例的装置中，对放射线检测有贡献的为电子 e 。形成在半导体层 1C 和表面电极 2c 之间的电阻结构成电压应用电极侧上的电子注入允许结构 2C。形成在半导体层 1C 和载流子收集电极 3c 之间的肖特基结构成载流子收集电极侧上的空穴注入阻止结构 3C。

在此情况下，对放射线检测作出贡献的电子 e 被以对应于通过入射放射线所产生的载流子的量从表面电极 2c 注入。这将导致检测信号与偏压成比例的增加 $(\mu_e \tau_e E)/d$ 倍，以使检测灵敏度有实质的提高。此电子 e 为半导体层 1C 中的少数的载流子，因此，在其中产生较少的暗电流。在第五实施例的放射线检测装置中，电极间的距离为（即半导体层 1C 的厚度）可为 0.03cm，半导体层 1C 可由 CdZnTe 构成，电子的 $\mu \tau$ 乘积为 $10^{-5} \text{cm}^2/\text{V}$ ，而空穴的 $\mu \tau$ 乘积为 $10^{-6} \text{cm}^2/\text{V}$ 。然后， $|V_A| > 90$ 伏的偏压导致 $(\mu_e \tau_e E)/d > 1$ 的结果，从而保证高灵敏度的放射线检测。

在此实施例中，设置在半导体层 1C 的电压应用电极侧上的电子注入允许结构可为形成在半导体层 1C 和电压应用电极（表面电极 2C）之间的低电阻率的半导体层的 n-型层或有机膜的形式。

设置在半导体层 1C 的载流子收集电极侧上的空穴注入阻止结构可为形成在半导体层 1C 和载流子收集电极 3C 之间的低电阻率的半导体膜的 n-型层或有机膜的 n-型层形式。

其他的结构细节和作用都与第一实施例中的相同，这里不再描述。

第六实施例

下面将描述第六实施例（根据本发明的第四方面的实施例）。图 6 为第六实施例中的放射线检测装置的主要部分的基本结构的示意图。图 14 为第六实施例中的放射线感应器的截面示意图。

在第六实施例中的放射线检测装置中，如图 6 和 14 中所示，将正

偏压 $+V_A$ 提供到表面电极 2b。表面电极 2b 和载流子收集电极 3b 都是由与 p-型半导体层 1D 形成肖特基结的诸如 ITO, Ti 或类似的金属构成。P-型半导体层 1D 与第五实施例中示出的类似, 并由诸如 CdZnTe 等半导体的化合物构成。

5 在第六实施例中, 以与形成在半导体层 1D 和表面电极 2d 之间的肖特基结相反的方向提供偏压, 以在电压应用电极侧上形成空穴注入阻止结构 2D。以与形成在半导体层 1D 和载流子收集电极 2d 之间的肖特基结同向的方向提供偏压以在载流子收集电极侧上形成电子注入允许结构 3D。

10 电子注入允许结构 3D 可以是形成在半导体层 1D 和载流子收集电极 3d 之间的低电阻率的有机膜的或半导体膜的 n-型层的形式。

在第六实施例中, 载流子收集电极 3b 可由与 p-型半导体形成电阻结的 Au, Pt 或类似的金属构成。然而, 这通常是不需要的, 因为在诸如 Au 或 Pt 的重金属的情况下, 金属原子可渗入构成下面的开关元件 4 的薄膜晶体管中, 从而使其性能降低。

15 其他的结构细节和作用都与第一实施例中的相同, 这里不再进行描述。

第七实施例

下面将描述第七实施例(根据本发明的第四方面的另外一个实施例)。图 15 为第七实施例中的放射线感应器的截面示意图。

20 如图 15 中所示, 第七实施例中的放射线检测装置包含一个形成在表面电极 2d 和 p-型半导体层 1D 之间的低电阻率的有机膜的或半导体膜的 n-型层 1d。P-型半导体层 1D 与第五和第六实施例中示出的相同。以与形成在半导体层 1D 和 n-型层 1d 之间的 PN 结相反的方向提供偏压以在电压应用电极侧上提供空穴注入阻止结构 2D。表面电极 2d 不需要由提供肖特基结的材料构成。用于形成 n-型层 1d 的低电阻率的半导体膜可为 CdS 或 CeO_2 。有机膜可为多碳化物或类似的混有电子转移剂的物质。结构和功能的其他的细节都与第一实施例中的相同, 这里不再描述。

30 本发明并不限于上述的实施例, 可做如下的修改:

(1) 在第五到第七实施例中，化合物半导体可为 CdZnTe。然而，CdTe 和 PbI₂ 可被用做化合物半导体。同样可使用掺杂有诸如 Cl 的卤素的掺卤素非晶硒。

5 (2) 在上述的实施例中，表面电极和载流子收集电极由金属构成。另外，在适当的情况下，可使用诸如 CdS 和 CeO₂ 的 n-型半导体和诸如 Sb₂Te₃ 的 p-型半导体。

10 (3) 在第一到第四实施例中的放射线检测装置包括以矩阵形式设置有多个检测元件 DU 的面检测器。可将此结构修改为包含一个线检测器，其具有多个竖直或水平以单列或单行设置的多个检测元件 DU，或只包含一个检测元件 DU。

(4) 根据本发明的通过放射线检测装置进行的放射线检测不限于 X 射线。此装置可适用所有的放射线类型。

在不脱离本发明的实质的情况下本发明可有其他的具体形式，本发明的范围只由所附的权利要求进行限定。

说明书附图

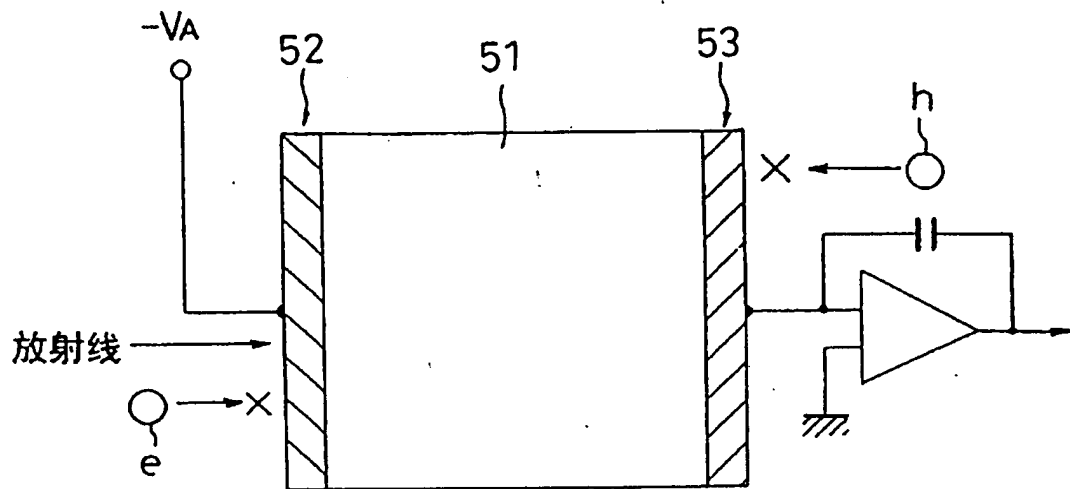


图 1

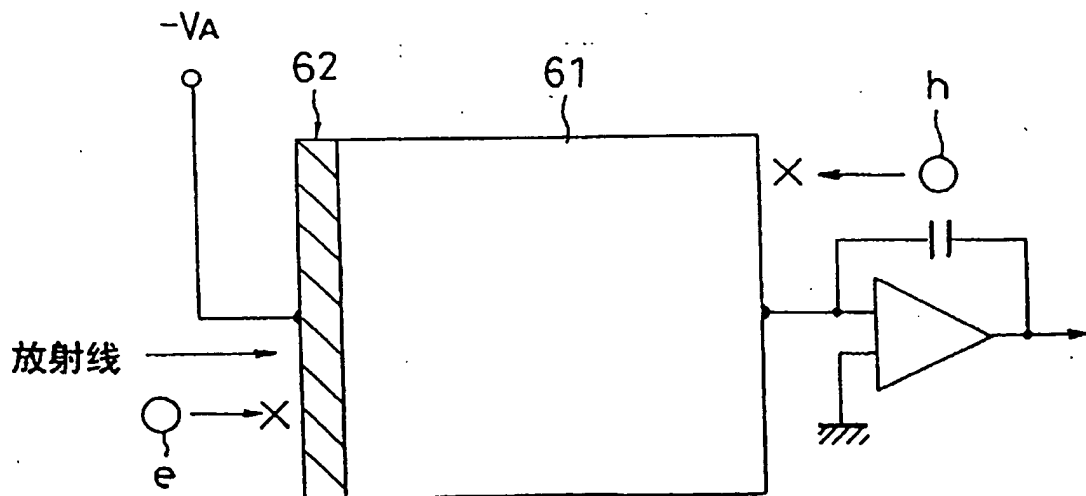


图 2

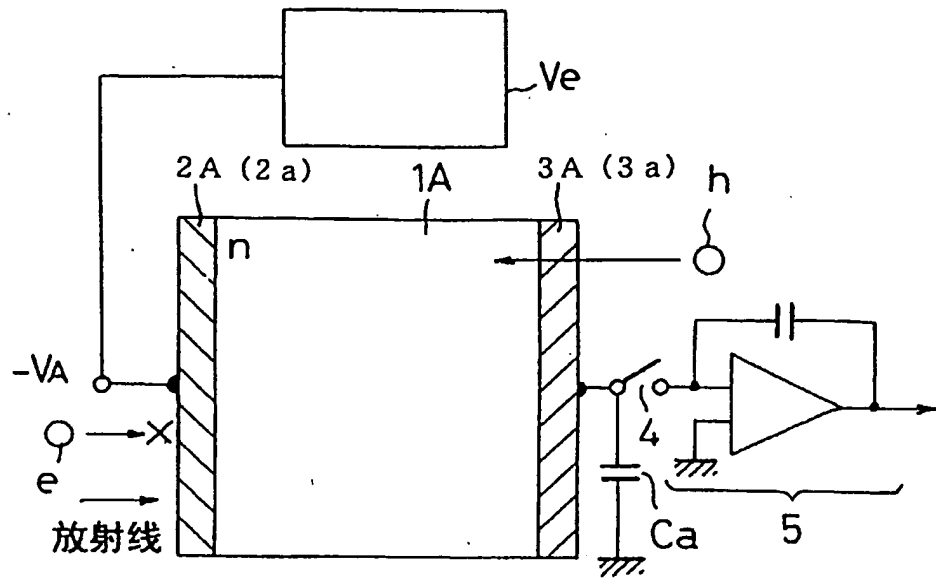


图 3

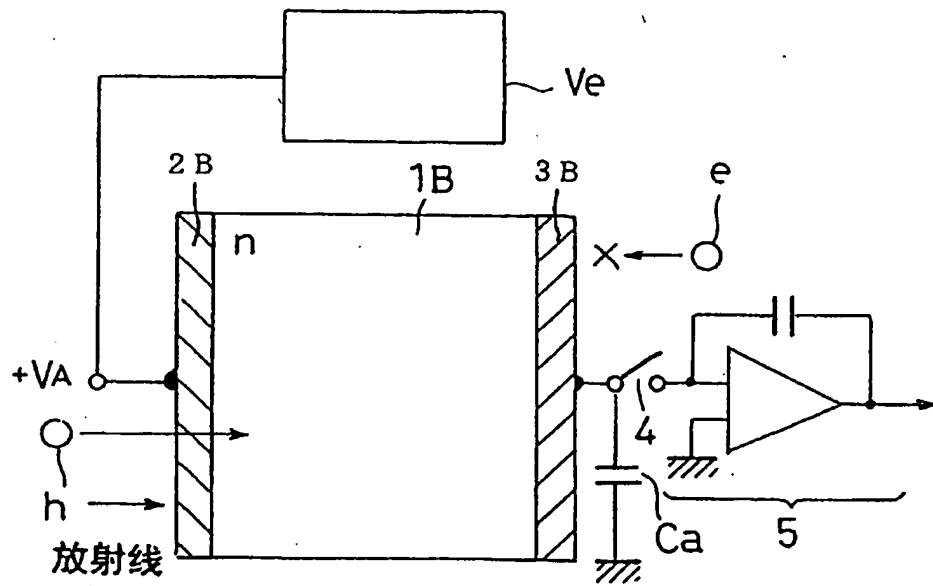


图 4

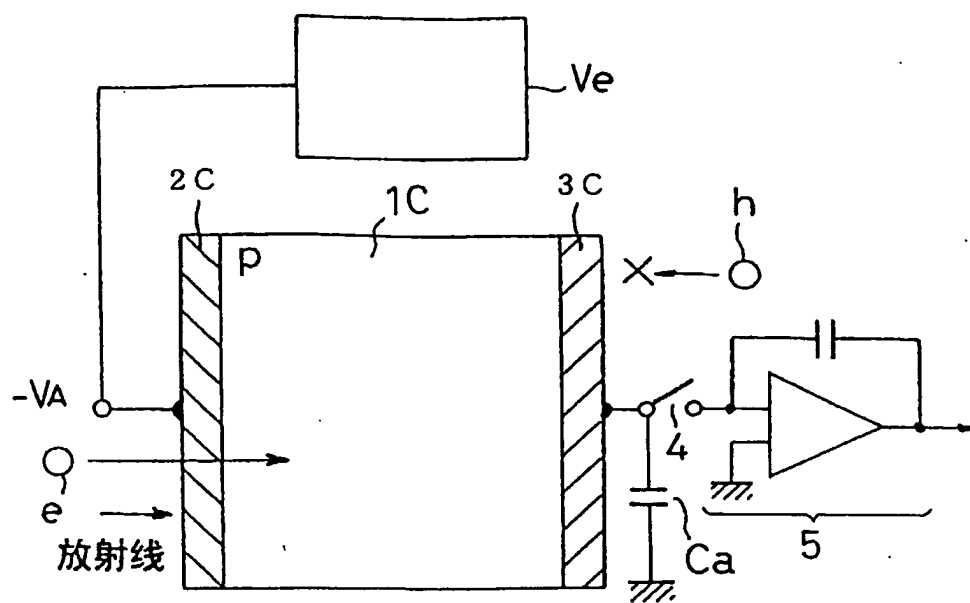


图 5

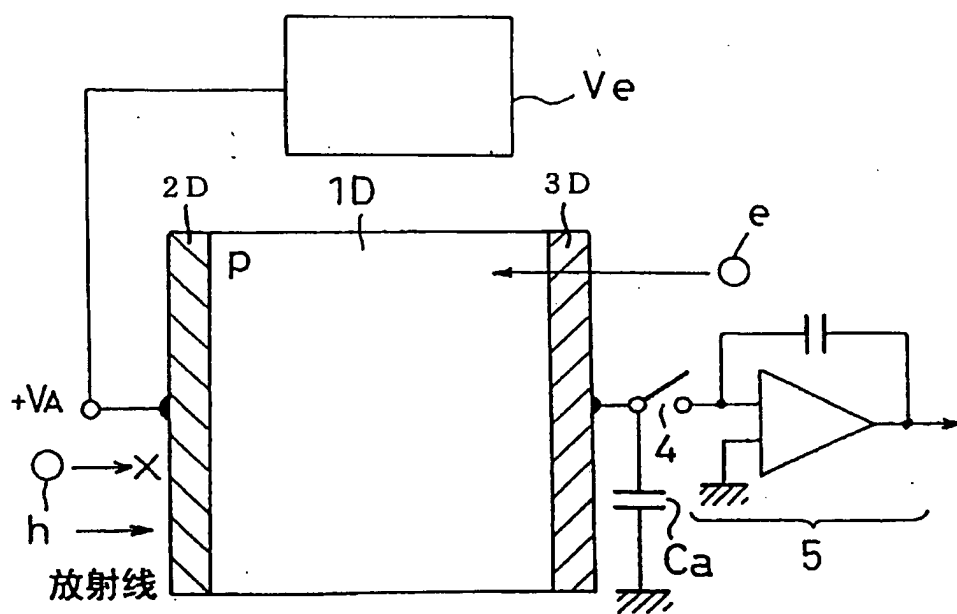


图 6

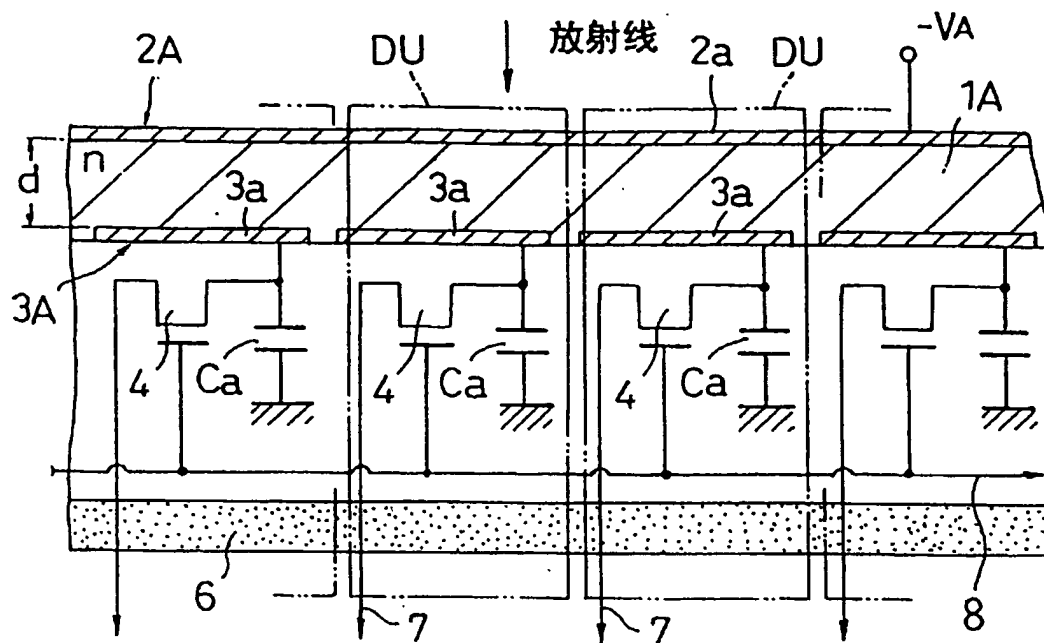


图 7

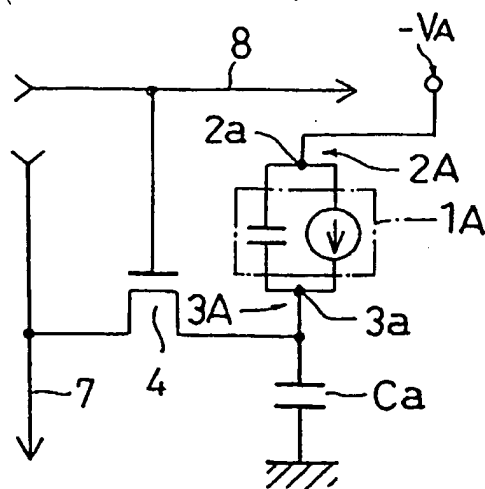


图 8

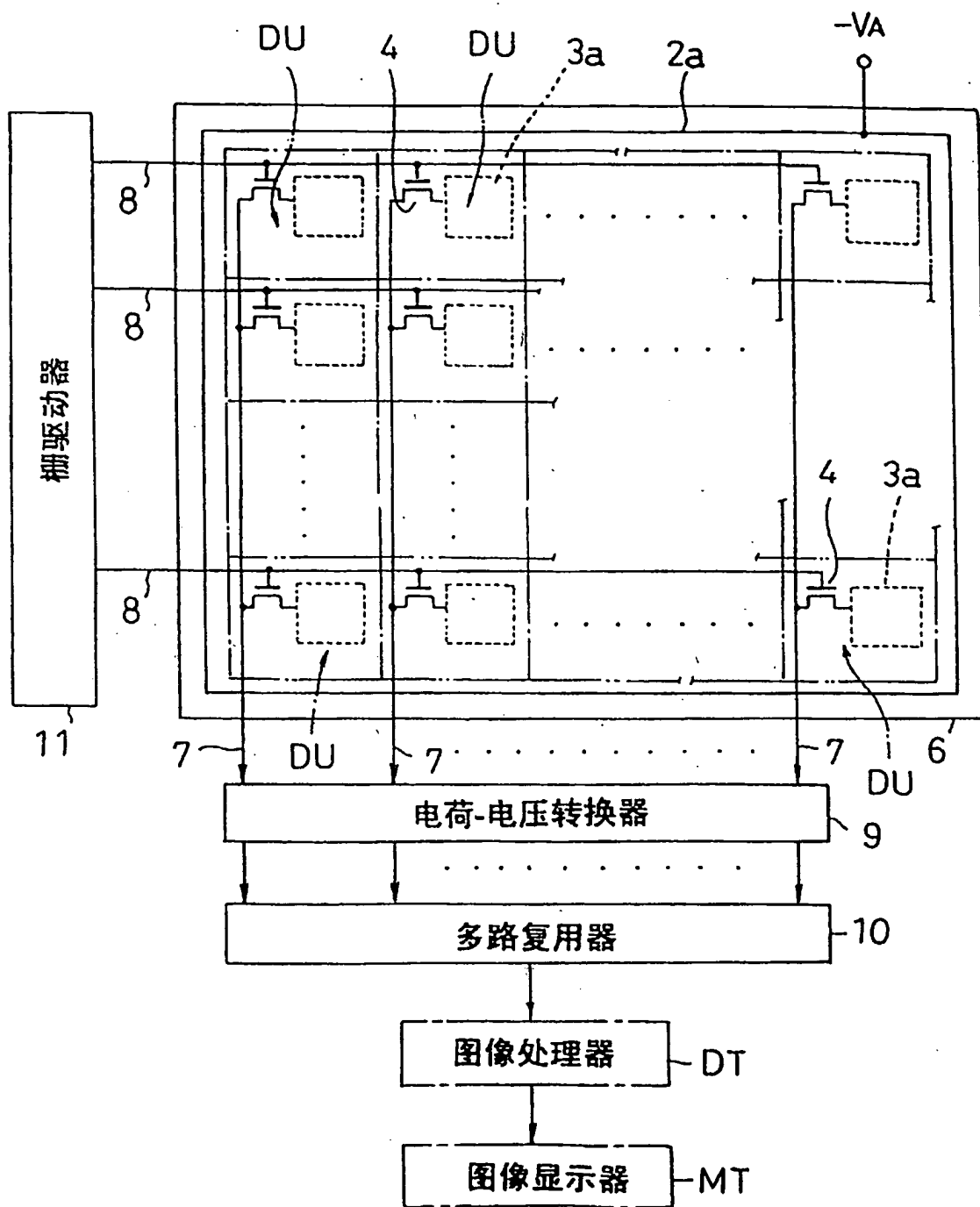


图 9

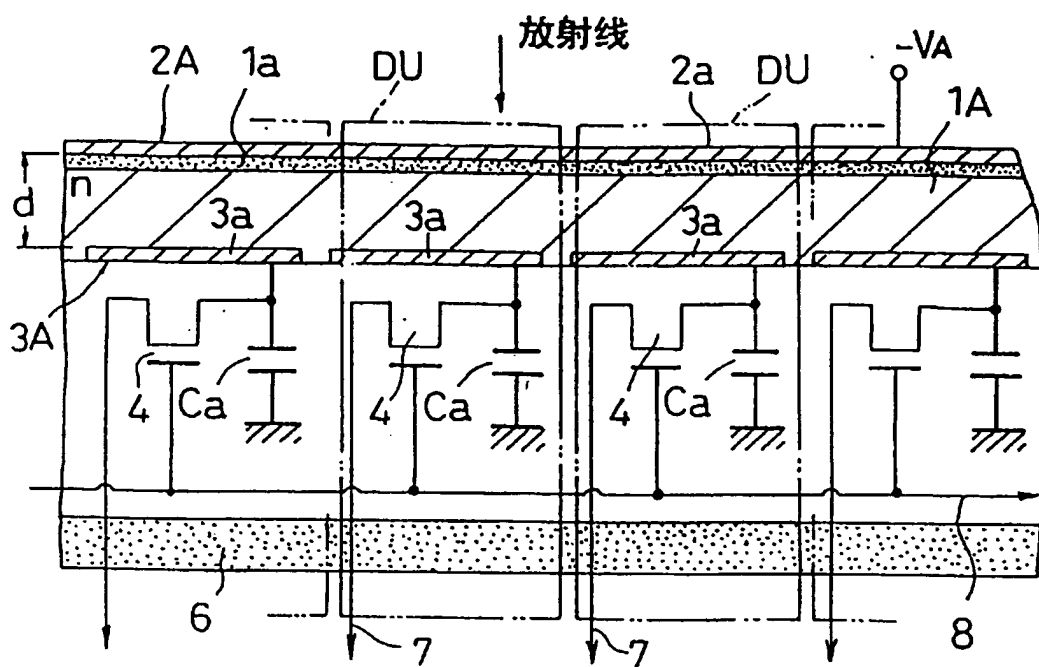


图 10

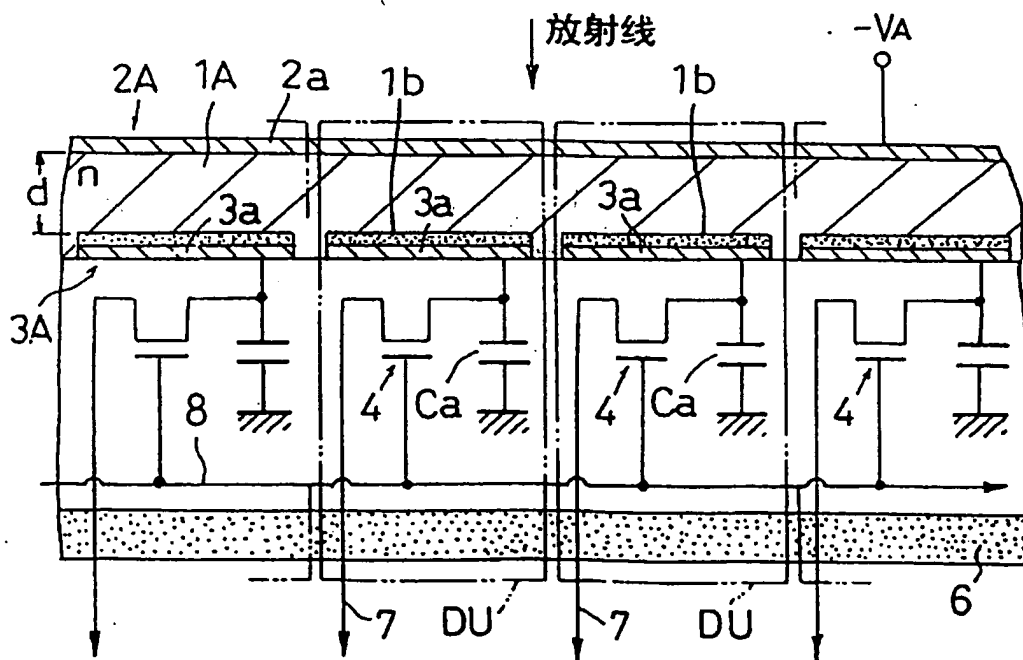
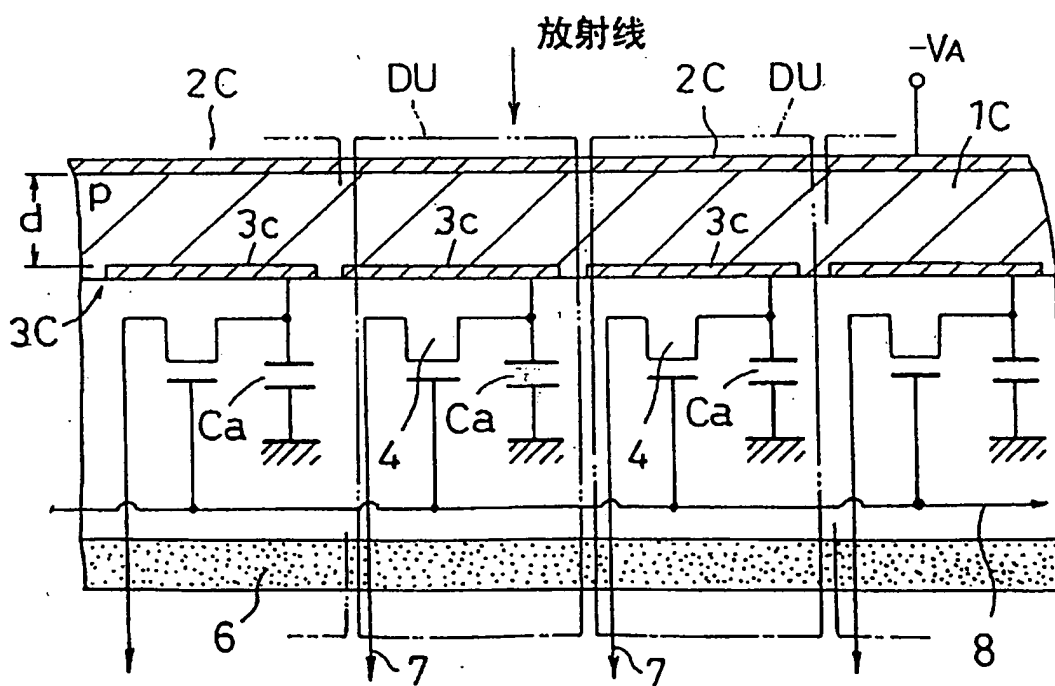
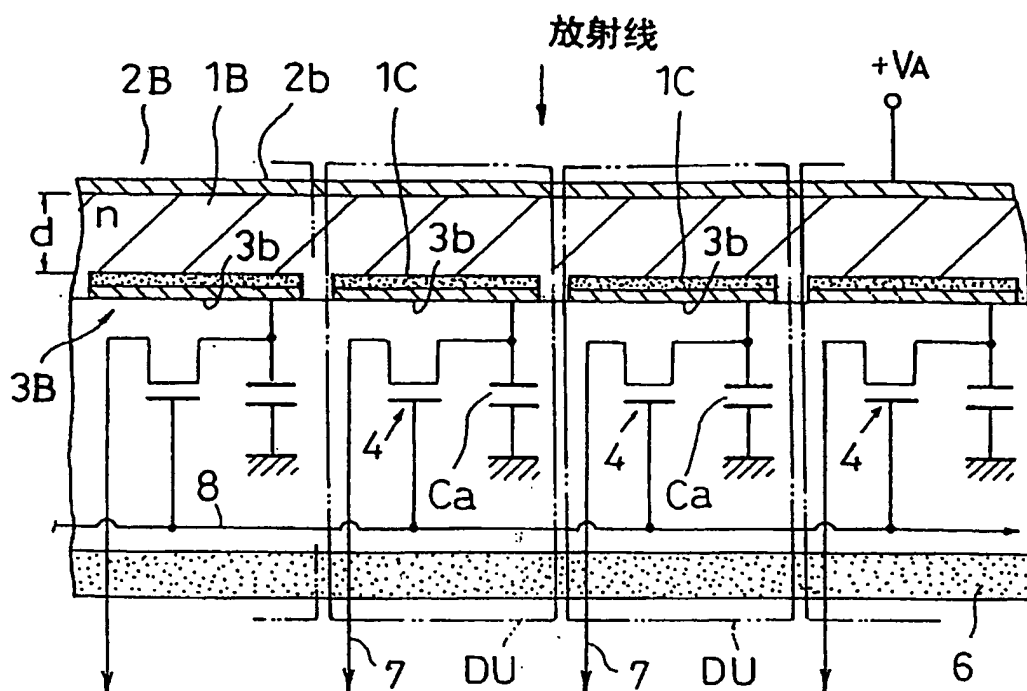


图 11



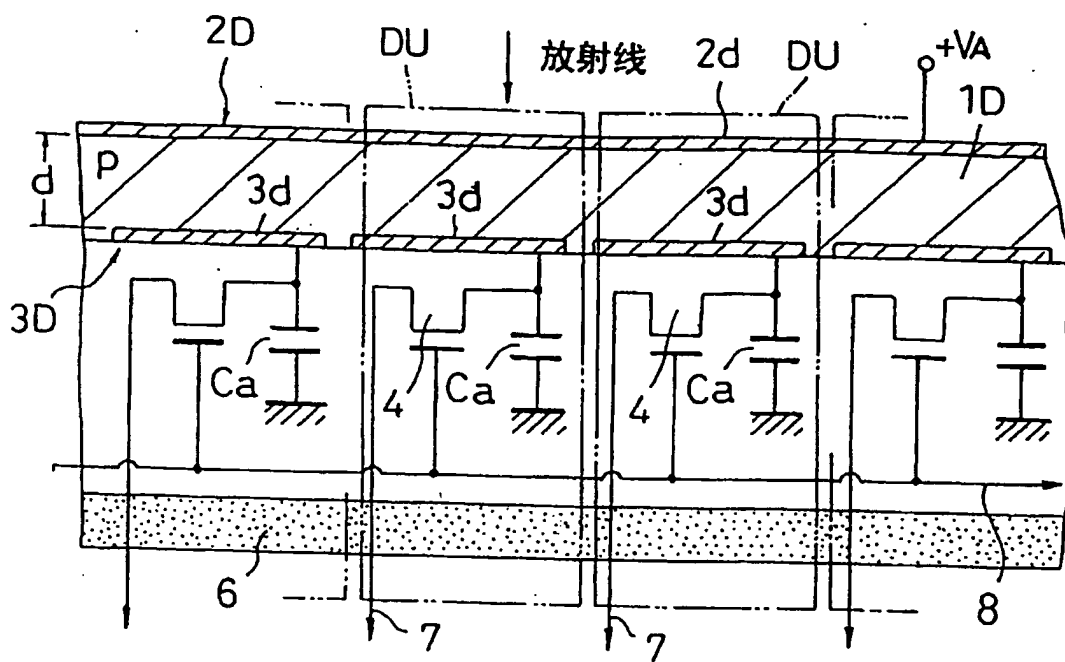


图 14

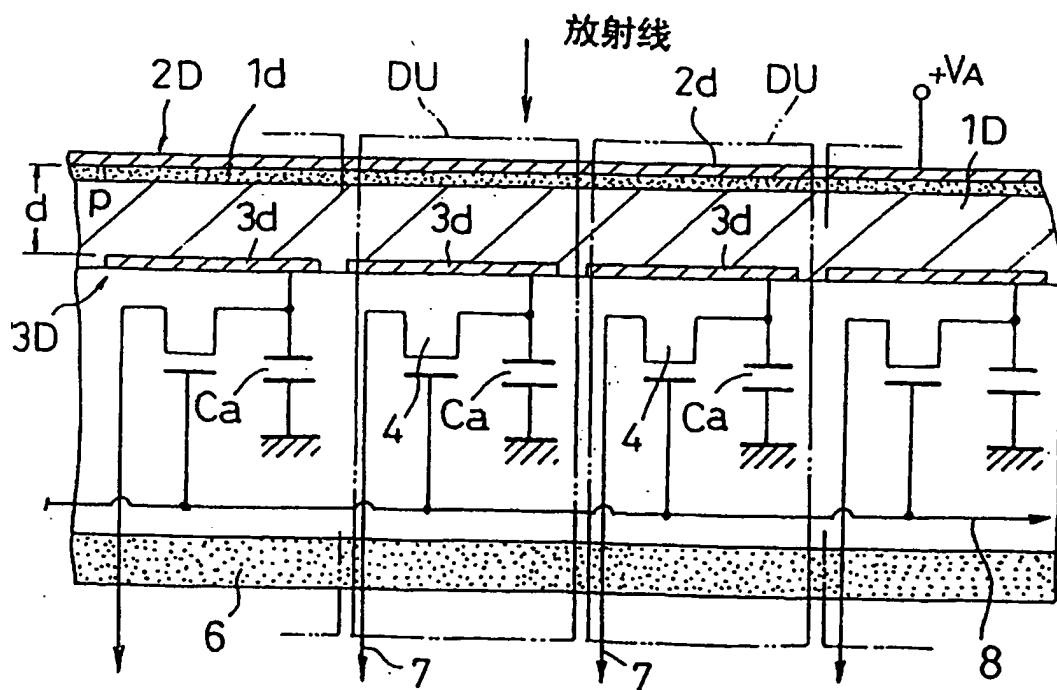


图 15